

·光电器件与材料·

长周期光纤光栅制作及其应用进展

陆 志

(辽宁地质工程职业学院, 辽宁 丹东 118008)

摘 要:概述了长周期光纤光栅(LPG)在光纤通信、光纤传感等领域的广泛应用,探讨了强度掩膜紫外光敏纤芯写入法、包层机械和热损伤写入法;并对 LPG 在光纤通信、光纤传感中使用实例进行了详细分析和说明。

关键词:光纤通信;长周期光纤光栅;光纤传感;模式转换

中图分类号: TN15

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)01-0046-04

Fabrication and Application of Long Period Fiber Gratings

LU Zhi

(Geological Engineering Professional School, Dandong 118008, China)

Abstract: The wide application of long-period fiber gratings (LPGs) in the fields of optical fiber communication and optical fiber sensor is summarized. The strength masking ultraviolet light-dependent photosensitive fiber core writing, coating mechanism and heat damaging writing are discussed. The application of LPG in the optical fiber communication and optical fiber sensing is analyzed and described with illustrations.

Key words: optical fiber communication; LPG; optical fiber sensing; pattern translating

光纤布拉格光栅(fiber bragg grating: FBG)的周期为纳秒量级,广泛用于光纤通信网和电磁隔离的光纤传感网络中。如果光纤光栅的周期达到数十微米甚至毫米量级,具有这种长度周期一般称之为长周期光纤光栅(Long-Period fiber grating: LPG)。LPG 可以用作掺铒光纤放大器(Er-Doped fiber amplifier: EDFA)的增益平坦器件、波长选择性耦合器和上/下话路器。由于 LPG 周期大,应力和温度的改变将引起光栅谐振波长的应变,耦合到包层中的波长发生变化值很大。因此 LPG 也可以用于光纤应力、温度、折射率和气体等传感,利用 LPG 的非线性可以构造全光信号处理逻辑门;利用 LPG 在传输带宽内的色散,可以对通信线路进行透过式色散补偿。LPG 的广泛应用推动了长周期光栅写入技术的发展。长周期光栅的周期比光纤布拉格光栅的大很多,一般在百微米以上,因而长周期光栅的写入要比布拉格光栅容易,最早采用的是强度掩模法,现在又发

展了如 CO₂ 激光和电弧加热微弯法、微透镜阵列法、离子刻蚀法,以及机械压痕法等^[1]。

LPG 的写入及其应用在最近几年取得了很多研究与进展。

1 LPG 的写入

在线写入 LPG^[2],在拉丝过程中,用 CO₂ 激光器周期性对光纤曝光,CO₂ 激光被分为 2 束,这 2 束激光相向通过 ZnSe 透镜聚焦在拉丝下来的光纤中,激光调制频率为 500 Hz,拉丝速度为 25 cm/s,制作透过率为 10 dB,半最大值全宽为 13 nm, LPG 的长度为 5 cm。这也是包层损伤法,写入装置和写入光纤光栅后的光纤外观图,如图 1 所示。

利用高频 CO₂ 激光器在常规保偏光纤和光子晶体保偏光纤上写入 LPG^[3],文献报道,写入 LPG 的效率与 CO₂ 激光束入射的方向有关,入射激光束

收稿日期:2008-12-23

作者简介:陆志(1968-),女,辽宁北镇人,副教授,主要研究光纤光栅及其在光纤通信、光纤传感中的应用。

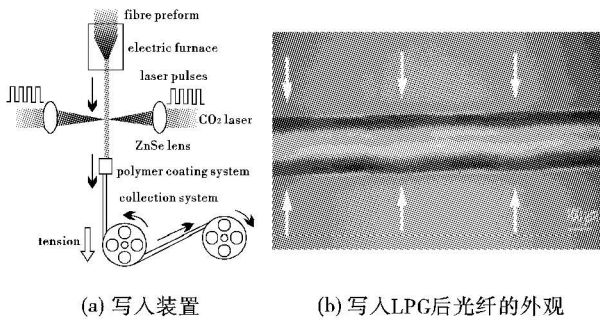


图 1 拉丝过程写入 LPG

对准保偏光纤的慢轴写入的效率最高,并且常规的保偏光纤比光子晶体保偏光纤对入射激光束的方向更敏感,造成这种结果的原因是保偏光子晶体光纤的应力区离纤芯的距离比常规保偏光纤大 6 倍.常规保偏光纤上写入的 LPG 质量比保偏光子晶体光纤上写入的要好.利用这种方法,在常规保偏光纤上写入透射率为 30 dB,快慢轴光谱分裂为 33.4 nm 的保偏 LPG.

用高频 CO₂ 激光器在包层外侧折射率改变写入 LPG^[4],也对纤芯没有影响,这个方法基于温度冲击法和快速冷却法.这种方法写入的 LPG 具有对环境折射率更高的灵敏度,外界折射率由 1.33 变到 1.45,谐振波长改变了 24.2 nm,但是透射率对外界折射率改变不敏感.通过适当的控制曝光能量、曝光时间,折射率改变只是在最外的包层 35 μm 厚度内,对其他部分没有物理形变或者损伤.写入的 LPG 透射率为 18 dB.

利用飞秒激光器在光子晶体光纤上写入 LPG^[5].采用低重复率的飞秒激光器在光子晶体光纤上写入对称和不对称 LPG,不对称的 LPG 对弯曲方向敏感,对称的 LPG 产生无方向的波长漂移,这 2 种情况下,偏振依赖损耗都很大.写入的 LPG 周期 400 μm,光纤为无休止单模光子晶体光纤,曝光能量为 450 ± 20 nJ,飞秒激光器波长为 800 nm、频率为 1 kHz、脉冲宽度为 150 fs.这种方法写入的 LPG 可以应用于高精度的弯曲传感.

2 LPG 的应用

利用在腔内连接 LPG 实现被动锁模^[6],对自启动,声光孤子在激光腔内的行为进行了分析,在不

同饱和吸收增益条件下,可以实现单孤子、双孤子以及三孤子运行.

光控调节 LPG^[7],在掺铒光纤的纤芯上写入 LPG,在不同泵浦光功率作用下,LPG 的谐振波长在 100 mW 泵浦功率下,改变了 5.5 nm.文献[8]在掺铒光纤上写入 LPG 抑制后向 ASE 的发生,并平滑前向 ASE,

在 2 个螺旋 LPG 中间加入无芯光纤制作全光纤带通滤波器^[9],如图 2 所示为原理结构图.螺旋 LPG 具有很好的谱响应,施加扭曲应力在螺旋纹上,在空心光纤中的芯模可以被阻断.具有均匀的通带滤波器特性,并且滤波器的透过率可以调节,偏振依赖损耗小,温度影响也小的优点.作者研制了中心波长不变的动态范围为 6 dB 的带通滤波器,采用施加扭曲螺旋纹变化 90° 实现的,温度因子为 14 pm/°C.

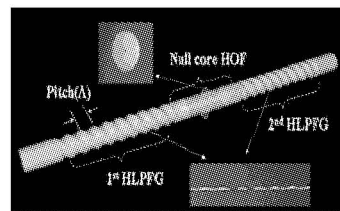


图 2 无芯光纤制作全光纤带通滤波器结构示意图

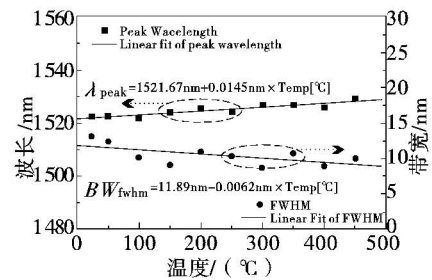


图 3 带通滤波器的温度变化测试结果

采用系列连接的多个螺旋 LPG、环形芯空心光纤以及多模光纤构成的全光纤波长可调带通滤波器^[10].可以把多模传输转化为单模传输,因此,该器件可用于多模链路的色散补偿,也可以用于单模光纤和多模光纤混合链路中的互联.在 - 720° ~ + 720°,器件的中心波长 19 pm/°C 线性变化,并具有低于 1 dB 的偏振依赖损耗,这种低偏振依赖损耗是器件固有的属性;波长可以调节达 25 nm.还有采用自准直芯模吸收阻断器的基于 LPG 的滤波

器^[11],采用了2个工作在相反方向的LPG,第1个LPG芯模阻挡器损耗掉第2个LPG非谐振的芯模,也让第2个LPG谐振的包层模通过,这种滤波器的带宽达20 nm,中心波长为1 542 nm,非谐振光抑制比为15 dB,带通滤波器的温度变化测试结果见图3.

利用相位抽样LPG实现OCDMA编码和解码^[12].这种相位抽样LPG利用了耦合率从芯模到包层模,对制作的移动平台精度只需要亚毫米量级,不像通常的光纤光栅制作需要的移动平台需要的精度为纳米量级,大大降低了LPG制作的难度和成本.这种方法可以实现以前难以实现的写入技术,采用光子晶体光纤来制作这种OCDMA可以降低弯曲和温度波动影响.对31码片OCDMA序列进行了研究,峰与自相关边瓣的抑制比为7.47 dB,自相关与互相关峰值抑制比为13.67 dB.采用了特殊设计,这种相移抽样LPG仅有在包层的耦合光可以用于OCDMA,从包层模耦合到芯模被阻止,因此只有包层模携带编码信息,如果包层模损耗大的话,需要在编码器的后面连接一个另外的LPG,把包层模耦合到芯模.控制相移可以实现各种不同的OCDMA编码.

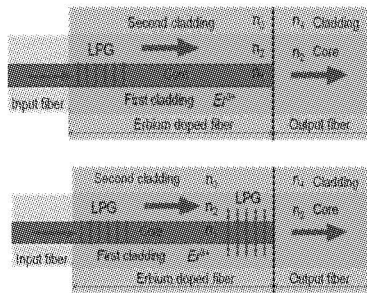


图4 2种高功率放大器耦合方案

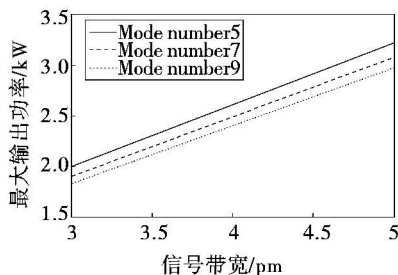


图5 LPG辅助耦合高功率与信号光线带宽关系图

LPG辅助耦合的高功率掺铒光纤放大器^[13]有2种方案,如图4所示,这种包层泵浦放大器可以产生2.25 kW的1 531 nm的连续光,转换效率可以达到0.83,这个器件包含掺铒的包层和没有掺杂的纤芯,泵浦光采用1 480 nm的激光,LPG写在纤芯上,传输弱的信号光从单模光纤进入预定的包层模,明显地增大了信号的模场面积,不需要的非线性效应如受激拉曼散射和布里渊散射取决于用于放大的包层模,第2个LPG写入在掺铒光纤的尾端,这样处理后,可以输出基模光束.图5给出了信号带宽与输出最大功率之间的关系^[14].

采用射频等离子体化学汽相沉积法在LPG的表面镀类金刚石碳薄膜^[15],这种镀膜可以改变LPG传感单元的特性,对化学方法引起的各种物质的折射率变化非常敏感,是一般LPG对外界的折射率变化灵敏度的15倍,图2给出了镀膜与不镀膜灵敏度的比较.可以作为很好的化学传感器和生物传感器.

LPG写在高非线性光纤上,采用非线性LPG^[16]实现光开关.

3 结 论

LPG的研究由于潜在的优势与应用的发展,许多研究机构投入大量的科研力量,在写入和应用的研究方面取得了成果.在市场上也有许多基于LPG的产品出售.对LPG的写入和应用研究的总结,可为其今后的应用发展提供借鉴.

参考文献

- [1] 宁提纲, 简水生, 魏淮, 等. 封装对长周期光纤光栅的影响[J]. 半导体光电, 2002, 23(1): 37-39.
- [2] Hirose T, Saito K, Kojima S, et al. Fabrication of long-period fibre grating by CO₂ laser-annealing in fibre-drawing process[J]. Electronics Letters, 2007, 43(8): 443-445.
- [3] Ho Wai L, Yunqi L, Kin Seng C. Writing of Long-Period Gratings in Conventional and Photonic-Crystal Polarization-Maintaining Fibers by CO₂-Laser Pulses[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2008, 20(2): 132-134.
- [4] Tao Z, Yun-Jiang R, Jiu-Ling W, et al. A Highly Sensitive Fiber-Optic Refractive Index Sensor Based on an Edge-Written Long-Period Fiber Grating[J]. Photonics

- Technology Letters, IEEE, 2007, 19(24): 1946 – 1948.
- [5] Allsop T, Kalli K, Zhou K, et al. Long period gratings written into a photonic crystal fibre by a femtosecond laser as directional bend sensors[J]. Optics Communications, 2008, 281(20): 5092 – 5096.
- [6] Karar A S, Smy T, Steele A L. Nonlinear Dynamics of a Passively Mode-Locked Fiber Laser Containing a Long-Period Fiber Grating [J]. Quantum Electronics, IEEE Journal of, 2008, 44(3): 254 – 261.
- [7] Quintela A, Quintela M A, Jauregui C, et al. Optically Tunable Long-Period Fiber Grating on an Er^{3+} Fiber[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2007, 19(10): 732 – 734.
- [8] Kapoor A, Singh R, Sharma E K. Suppression of Amplified Spontaneous Emission in Erbium Doped Fiber with Long Period Grating written in it[C]//Microwave Conference, 2007. APMC 2007. Asia-Pacific, 2007: 1 – 4.
- [9] Shin W, Oh K, Yu B A, et al. All-Fiber Bandpass Filter Based on Helicoidal Long-Period Grating Pair and Null Core Hollow Optical Fiber with Flexible Transmission Control [J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2008, 20(2): 153 – 155.
- [10] Shin W, Oh K, Yu B A, et al. All-Fiber Wavelength-Tunable and Mode Convertible Bandpass Filter for Optical Interconnections[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2008, 20(6): 404 – 406.
- [11] Sakata H, Suzuki S, Ito H, et al. Long-period fiber-grating-based bandpass filter using self-aligned absorptive core mode blocker[J]. Optical Fiber Technology, 2008, 14(2): 93 – 96.
- [12] Xia L, Shum P. Design of novel DS-OCDMA encoders/decoders using phase sampled long period grating[J]. Optics Communications, 2008, 281(17): 4317 – 4320.
- [13] Nemova G, Kashyap R. High-power long-period-grating-assisted erbium-doped fiber amplifier[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2008, 25(8): 1322 – 1327.
- [14] Nemova G, Kashyap R. High-power long-period-grating-assisted erbium-doped fiber amplifier[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2008, 25(8): 1322 – 1327.
- [15] Smietana M, Szmids J, Korwin-Pawlowski M L, et al. Application of diamond-like carbon films in optical fibre sensors based on long-period gratings[J]. Diamond and Related Materials, 2007, 16(4 – 7): 1374 – 1377.
- [16] Grujic T, Nguyen H C, Lamont M R E, et al. All-optical regeneration based on a nonlinear long period grating [J]. Optics Communications, 2008, 281(5): 1280 – 1285.

简讯

F-35 战斗机通过传感器综合实现超强态势感知

F-35“闪电 II”先进战斗机通过先进的头盔显示器系统(HMDS)和光电分布孔径系统(EODAS)以及多种数据链使飞行员获得全维态势感知能力。

F-35 战斗机飞行员头盔显示器系统的图像来源有两个,一是夜视摄像机,二是光电分布式孔径系统。夜视摄像机由视觉系统公司研制,可将来自飞机传感器系统的数据和图像全部投射到头盔显示器系统的屏幕上。光电分布孔径系统由诺斯罗普·格鲁曼电子系统公司研制,包括 6 个光电传感器,布置在飞机机体的多处位置,提供 360°的全维态势感知能力。通过头盔显示器系统的护目镜显示出来的图像,可以让飞行员对其飞机周围的环境有一个完整的了解,而不会由于飞机的结构而形成视觉的盲区。

光电分布孔径系统可以使飞行员具备下视和后视能力,看到机体下方的环境,也可以看到飞机后方发生的事情。该系统可以为飞行员昼夜提供多种情报信息,主要包括:对来袭导弹和飞机的告警;探测导弹发射源;对僚机和其他友机的跟踪;对 F-35 机载武器的火力控制。光电分布孔径系统还支持飞机使用红外传感器进行导航,这一点对于短距离起飞/垂直降落型“闪电 II”战斗机——装备海军陆战队的 F-35B 来说非常有用,因为飞行员可以直接看到飞机下方的情况。

F-35 战斗机还装备了洛克希德·马丁公司研制的光电

目标瞄准系统(EOTS),其功能包括为激光制导炸弹指引目标、为感兴趣目标测定距离、空对空/空对地自动红外视频跟踪和目标定位、远程红外搜索和跟踪、用于自动目标搜索和提示的激光点跟踪。

F-35 战斗机的软件能够将传感器输入数据综合并显示在一个便于飞行员使用的显示器上。而在此之前,飞行员必须要观察来源于不同传感器的多个显示器的信息,分别译解、评估之后才能进行决策与操作。现在飞行员能够根据综合信息更迅速地完成任务。

F-35 将安装 3 条数据链与其他平台传输和接收数据。第一条是 F-35 独有的“多功能先进数据链”,这种数据链可以使多架 F-35 战斗机之间进行无缝的实时数据交换;第二条是 Link 16 数据链网络,它是目前美国平台最主要的战术数据链网络;第三条是在作战无线电通信网(CNR)中执行可变信息格式(VMF)的数据链,用于数字化辅助近距离空中支援,因此,F-35 战斗机将和那些执行现有标准、在作战无线电通信网中执行可变信息格式的平台联合作战,其中包括 F/A-18 和联合部队空中控制系统。

目前,洛克希德·马丁公司和诺斯罗普·格鲁曼公司使用改装后的客机和喷气式战斗机作为 F-35 任务系统测试和综合平台。光电分布孔径系统和光电目标瞄准系统都经过了塔上和空中的测试。

(张洁提供)